

PCT/JP2004/000547

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

22.1.2004

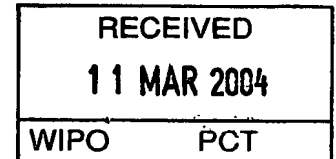
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 1月23日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-015396
[ST. 10/C]: [JP2003-015396]

出 願 人
Applicant(s): 信越半導体株式会社

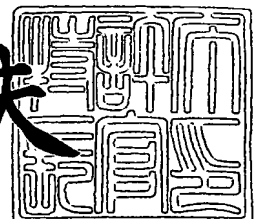


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2004-3013650

【書類名】 特許願

【整理番号】 0200231

【提出日】 平成15年 1月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 27/00

【発明者】

【住所又は居所】 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平 1 5 0 番地 信
越半導体株式会社 半導体白河研究所内

【氏名】 櫻田 昌弘

【発明者】

【住所又は居所】 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平 1 5 0 番地 信
越半導体株式会社 半導体白河研究所内

【氏名】 三田村 伸晃

【発明者】

【住所又は居所】 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平 1 5 0 番地 信
越半導体株式会社 半導体白河研究所内

【氏名】 布施川 泉

【特許出願人】

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【代理人】

【識別番号】 100102532

【弁理士】

【氏名又は名称】 好宮 幹夫

【電話番号】 03-3844-4501

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 043247

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703915

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 S O I ウエーハ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 それぞれシリコン単結晶からなるベースウエーハとボンドウエーハとを、酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化することによりシリコン活性層が形成された S O I ウエーハであって、前記ベースウエーハが、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面が O S F 領域の外側の N 領域であり、且つ C u デポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなることを特徴とする S O I ウエーハ。

【請求項 2】 前記 S O I ウエーハが、前記ボンドウエーハにイオン注入を行い、形成されたイオン注入層で剥離することで前記ボンドウエーハの薄膜化を行うイオン注入剥離法により形成されたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の S O I ウエーハ。

【請求項 3】 前記酸化膜の厚さが、10～100 nm の範囲にあることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の S O I ウエーハ。

【請求項 4】 前記シリコン活性層が、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、全面にわたって O S F 領域の外側の N 領域であり、且つ C u デポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の S O I ウエーハ。

【請求項 5】 少なくとも、それぞれシリコン単結晶からなるベースウエーハとボンドウエーハのうち少なくとも一方に酸化膜を形成する工程と、ボンドウエーハにイオン注入することによりイオン注入層を形成する工程と、該ボンドウエーハのイオン注入した側の面を、前記酸化膜を介してベースウエーハと貼り合わせる工程と、前記イオン注入層を境界として剥離を行う工程とを有する S O I ウエーハの製造方法において、前記ベースウエーハとして、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面が、育成の際に引き上げ速度を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生する O S F 領域より低速側の N 領域であり、且つ C u デポジション法により検出される欠陥領域を含まないものを使用することを特徴とする S O I ウエーハの製造方法。

【請求項6】 前記ボンドウエーハとして、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面が、育成の際に引き上げ速度を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生するOSF領域より低速側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものを使用することを特徴とする請求項5に記載のSOIウエーハの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、SOIウエーハ、特に、電気的信頼性が極めて高い高品質のSOIウエーハ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、デバイス用基板として、支持基板上にシリコン活性層（SOI層）が形成されたSOIウエーハが広く利用されている。このようなSOIウエーハの製造方法として、例えば、2枚のシリコンウエーハ同士を酸化膜を介して貼り合わせて製造する、いわゆる貼り合わせ法が知られている。

【0003】

貼り合わせ法の一つであるイオン注入剥離法では、シリコン活性層となるシリコンウエーハ（ボンドウエーハ）あるいは支持基板となるシリコンウエーハ（ベースウエーハ）の表面に絶縁層として酸化膜（埋め込み酸化膜、層間絶縁酸化膜などとも呼ばれる）を形成し、ボンドウエーハの片側の表面から水素等のイオンをイオン注入してウエーハ内部にイオン注入層（微小気泡層）を形成する。さらに、ボンドウエーハのイオン注入した側の面を、酸化膜を介してベースウエーハと貼り合わせた後、熱処理によりイオン注入層を境界として剥離する。これによりベースウエーハ上に酸化膜を介して薄いシリコン活性層が形成されたSOIウエーハを得ることができる。なお、剥離後、シリコン活性層とベースウエーハとの結合力を高めるための熱処理（結合熱処理）や、表面の酸化膜を除去するためのフッ酸洗浄などを行う場合もある。

【0004】

このようなSOIウエーハの製造に使用するシリコンウエーハとしては、一般的に、チョクラルスキー法（CZ法）により育成されたシリコン単結晶を用いることができるが、近年、シリコン活性層や埋め込み酸化膜の薄膜化要求が増しており、使用するシリコンウエーハの品質要求が厳しくなっている。

特に、シリコン活性層となるボンドウエーハについては、欠陥の少ないシリコン単結晶を育成し、これから得た高品質のシリコンウエーハを使用することが提案されている。

【0005】

ここで、チョクラルスキー法によりシリコン単結晶を育成する際の引き上げ速度と、育成されるシリコン単結晶の欠陥との関係について説明する。

通常の結晶中固液界面近傍の温度勾配Gが大きい炉内構造（ホットゾーン：HZ）を使用したCZ引き上げ機で結晶軸方向に成長速度Vを高速から低速に変化させた場合、図9に示したような欠陥分布図として得られることが知られている。

【0006】

図9においてV領域とは、空孔（Vacancy）、つまりシリコン原子の不足から発生する凹部、穴のようなものが多い領域であり、I領域とは、余分なシリコン原子である格子間シリコンが存在することにより発生する転位や余分なシリコン原子の塊が多い領域のことである。そして、V領域とI領域の間には、原子の不足や余分が無い（少ない）ニュートラル（Neutral、以下Nと略記することがある）領域が存在し、また、V領域の境界近辺にはOSF（酸化誘起積層欠陥、Oxidation Induced Stacking Fault）と呼ばれる欠陥が、結晶成長軸に対する垂直方向の断面で見た時に、リング状に分布（以下、OSFリングということがある）していることも確認されている。

【0007】

そして、成長速度が比較的高速の場合には、空孔型の点欠陥が集合したボイド起因とされているFPD、LSTD、COP等のグローニン欠陥が結晶径方向全域に高密度に存在し、これらの欠陥が存在する領域はV領域となる。また、成長速度の低下に伴い、OSFリングが結晶の周辺から発生し、このリングの外側

(低速側)にN領域が発生し、さらに、成長速度を低速にすると、OSFリングがウェーハの中心に収縮して消滅し、全面がN領域となる。さらに低速にすると、格子間シリコンが集合した転位ループ起因と考えられているL/D (Large Dislocation: 格子間転位ループの略号、LSEPD、LFPD等)の欠陥(巨大転位クラスタ)が低密度に存在し、これらの欠陥が存在する領域はI領域(L/D領域ということがある)となる。

【0008】

そして、V領域とI領域の間でOSFリングの外側のN領域は、空孔起因のFPD、LSTD、COPも、格子間シリコン起因のLSEPD、LFPDも存在しない領域となる。なお、最近では、N領域をさらに分類すると、図9に示されているように、OSFリングの外側に隣接するN_v領域(空孔の多い領域)とI領域に隣接するN_i領域(格子間シリコンが多い領域)とがあり、N_v領域では、熱酸化処理した際に酸素析出量が多く、N_i領域では酸素析出が殆ど無いことがわかっている。

【0009】

このようなN領域は、従来、ウェーハ面内では一部分にしか存在しなかったが、引上げ速度(V)と結晶固液界面軸方向温度勾配(G)の比であるV/Gを制御することで図9に示されるようにN領域が横全面(ウェーハ全面)に広がった結晶も製造できるようになっている。

そこで、SOIウェーハの製造においても、ボンドウエーハとして全面N領域となるシリコン単結晶ウェーハを用いる方法が提案されている。例えば、チョクラスキー法によりシリコン単結晶を引上げる際、引き上げ速度Vと引上げ軸方向の結晶固液界面の温度勾配Gとの比(V/G)を所定の範囲内に制御してシリコン単結晶を引上げ、ボンドウエーハとして、N領域のシリコンウェーハを使用したSOIウェーハが提案されている(例えば、特許文献1及び特許文献2参照)。

【0010】

一方、ベースウェーハについては、本来、絶縁膜を介したSOI層を支持するために必要なものであり、その表面に直接素子形成が行われるわけではない。そ

のため、抵抗値などが製品規格から外れたダミーグレードのシリコンウエーハをベースウエーハとして使用することも提案されている（特許文献3参照。）。

【0011】

一般的には、ベースウエーハとしては、品質と生産性の向上等を考慮し、図9に示されるように高速の引き上げ速度で成長させたV領域、あるいはOSF領域やN_v領域を一部に含む程度のシリコン単結晶を育成し、このように高速成長させたシリコン単結晶から鏡面状に加工したシリコンウエーハが広く使用されている。

【0012】

【特許文献1】

特開2001-146498号公報（第5-8頁）

【特許文献2】

特開2001-44398号公報（第2-4頁、図1）

【特許文献3】

特開平11-40786号公報

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

前記のように高速成長させたシリコン単結晶から得たシリコンウエーハの表面およびバルク内は空孔が集合したCOPのような空孔欠陥が高密度に形成されており、表面にサイズが50nm以上の微小ピット欠陥が多数存在している。そして、このような微小ピット欠陥が多数存在するシリコンウエーハをベースウエーハとして使用してSOIウエーハを製造すると、特に、近年要求されている絶縁酸化膜の厚さを薄く形成した場合、高絶縁性が維持されず、電氣的信頼性を損なうという問題が生じてきた。

【0014】

そこで、本発明はこのような問題に鑑みてなされたもので、層間絶縁酸化膜の厚さが例えば100nm以下となるほど極めて薄く形成した場合であっても、高絶縁性が維持され、デバイス作製工程における電氣的信頼性が高いSOIウエーハを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明によれば、それぞれシリコン単結晶からなるベースウエーハとボンドウエーハとを、酸化膜を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化することによりシリコン活性層が形成されたSOIウエーハであって、前記ベースウエーハが、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面がOSF領域の外側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなることを特徴とするSOIウエーハが提供される（請求項1）。

【0016】

このようにベースウエーハの全面がOSF領域の外側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないCZシリコン単結晶からなるSOIウエーハであれば、ベースウエーハの表面に微小欠陥が存在しないため、ベースウエーハ上の絶縁酸化膜の厚さが例えば100nmを下回るような薄いものの場合でも、ベースウエーハ表面の欠陥の影響を受けて絶縁破壊特性の劣化が生じることがなく、電氣的信頼性が極めて高いSOIウエーハとなる。

【0017】

この場合、SOIウエーハは、前記ボンドウエーハにイオン注入を行い、形成されたイオン注入層で剥離することで前記ボンドウエーハの薄膜化を行うイオン注入剥離法により形成されたものであることが好ましい（請求項2）。

貼り合わせ法としては、ボンドウエーハとベースウエーハを貼り合わせた後、ボンドウエーハを研削・研磨により薄膜化してSOIウエーハとすることもできるが、この場合SOI層の厚さは比較的厚いものとなる。一方、イオン注入剥離法によれば、イオン注入層の深さ、すなわちSOI層の厚さを近年要求されている極めて薄いレベルとすることができ、極めて高品質のSOIウエーハとすることができる。

【0018】

前記酸化膜の厚さは、10～100nmの範囲とすることができ（請求項3）。

近年、層間絶縁酸化膜の厚さを例えば50 nm程度とすることが要求されているが、本発明のSOIウエーハは、このように極めて薄い酸化膜を形成したものとしても、絶縁破壊特性が劣化されず、高絶縁性が保たれたものとなる。

【0019】

また、前記シリコン活性層は、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、全面にわたってOSF領域の外側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなることが好ましい（請求項4）。

このようにシリコン活性層も全面がOSF領域の外側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないCZシリコン単結晶からなるものであれば、デバイス形成領域に欠陥がないものとなるし、また、弗酸洗浄を行ってもシリコン活性層の欠陥を介してシリコン活性層や埋め込み酸化膜が破壊されることもない、極めて高品質のSOIウエーハとなる。

【0020】

さらに本発明によれば、上記のようなSOIウエーハの製造方法も提供される。すなわち、少なくとも、それぞれシリコン単結晶からなるベースウエーハとボンドウエーハのうち少なくとも一方に酸化膜を形成する工程と、ボンドウエーハにイオン注入することによりイオン注入層を形成する工程と、該ボンドウエーハのイオン注入した側の面を、前記酸化膜を介してベースウエーハと貼り合わせる工程と、前記イオン注入層を境界として剥離を行う工程とを有するSOIウエーハの製造方法において、前記ベースウエーハとして、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面が、育成の際に引き上げ速度を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生するOSF領域より低速側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものを使用することを特徴とするSOIウエーハの製造方法が提供される（請求項5）。

【0021】

イオン注入剥離法によりSOIウエーハを製造する際、ベースウエーハとして、上記のようにウエーハ全面が無欠陥となるCZシリコン単結晶ウエーハを使用

すれば、たとえ層間絶縁酸化膜が100nmを下回る厚さに形成しても、結合熱処理等の際にベースウエーハに存在する欠陥に起因して酸化膜の絶縁破壊特性が劣化されるようなことはなく、電気的信頼性の高い高品質のSOIウエーハを製造することができる。

【0022】

この場合、ボンドウエーハとして、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面が、育成の際に引き上げ速度を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生するOSF領域より低速側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものを使用することが好ましい（請求項6）。

このようにボンドウエーハも、ベースウエーハと同様に無欠陥のものを使用してSOIウエーハを製造すれば、SOI層に形成されるデバイスに悪影響を及ぼすことがないし、層間酸化膜の絶縁破壊特性の劣化も確実に防ぐことができる、極めて高品質のSOIウエーハを製造することができる。

【0023】

また、最近、イオン注入剥離法でSOIウエーハを製造した場合、剥離したボンドウエーハ（剥離ウエーハ）を再生処理してベースウエーハ（あるいはボンドウエーハ）として再利用する方法が提案されている（例えば、特開平11-297583号公報参照。）。従って、上記のような無欠陥のボンドウエーハを使用し、その後剥離ウエーハを再生処理してベースウエーハとして再利用すれば、製造コストを低く抑えて高品質のSOIウエーハを製造することができる。

【0024】

以下、本発明についてさらに詳しく説明する。

本発明者らは、貼り合わせ法によるSOIウエーハのベースウエーハが埋め込み酸化膜に及ぼす影響について詳細な調査を行った。その結果、従来一般的に使用されている高速成長させたシリコン単結晶、すなわち、表面に50nm以上の微小欠陥が多数存在するようなシリコンウエーハを使用してSOIウエーハを製造すると、絶縁酸化膜が数百nm以上となる十分な厚さを有している場合にはベースウエーハの影響による絶縁破壊特性の劣化のような問題は生じ難いが、10

0 nmを下回るような薄膜である場合にはベースウエーハの影響により絶縁性の維持に障害が生じるおそれがあることが分かった。特に、近年要求されつつある 50 nmレベルの埋め込み酸化膜とした場合、従来のVリッチベースウエーハでは、結合熱処理等の際に層間絶縁酸化膜に影響を与え、高絶縁性が維持できず、電気的信頼性を損なう可能性が極めて高いことが分かった。

【0025】

そこで、本発明者らは、ベースウエーハの微小欠陥を低減させることで、絶縁酸化膜を100 nm以下に形成した場合でも絶縁破壊特性の劣化が生じない電気的信頼性の高いSOIウエーハとすることができると考え、さらに以下のような調査及び検討を行った。

まず、シリコン単結晶を引き上げる際、結晶肩から直胴尾部にかけて高速から低速へ漸減させた場合、前記したように、ある成長速度に達したときにOSFがシュリンクし、その後、さらに低速領域でNv、Ni、I（巨大転位クラスタ発生）領域の順に各相が形成されることが知られている。また、最近では、図2に示されるように、Nv領域にはOSF消滅直後にCuデポジション法により欠陥が検出される領域（以下、Cuデポジション欠陥領域という場合がある。）が一部存在することも分かった（例えば、特開2002-201093号公報参照）。

【0026】

なお、Cuデポジション法とは、半導体ウエーハの欠陥の位置を正確に測定し、半導体ウエーハの欠陥に対する検出限度を向上させ、より微細な欠陥に対しても正確に測定し、分析できるウエーハの評価法である。

具体的なウエーハの評価方法は、ウエーハ表面上に所定の厚さの絶縁膜を形成させ、前記ウエーハの表面近くに形成された欠陥部位上の絶縁膜を破壊して欠陥部位にCu等の電解物質を析出（デポジション）するものである。つまり、Cuデポジション法は、Cuイオンが溶存する液体の中で、ウエーハ表面に形成した酸化膜に電位を印加すると、酸化膜が劣化している部位に電流が流れ、CuイオンがCuとなって析出することを利用した評価法である。酸化膜が劣化し易い部分にはCOP等の欠陥が存在していることが知られている。

【0027】

Cuデポジションされたウエーハの欠陥部位は、集光灯下や直接的に肉眼で分析してその分布や密度を評価することができ、さらに顕微鏡観察、透過電子顕微鏡 (TEM; Transmission Electron Microscope) または走査電子顕微鏡 (SEM; Scanning Electron Microscope) 等でも確認することができる。

【0028】

そして本発明者らは、これらの領域における欠陥についてさらなる調査を行った。

具体的には、シリコン単結晶成長の高速から低速へ漸減する際、OSF消滅直前のV領域を表面検査装置 (MAGICS; 商品名) による座標同定後、集束イオンビーム (FIB; Focused Ion Beam) 加工を施し、そのポイントのTEM観察を行ったところ、約20nmの微小ピット欠陥の存在が確認された。また、V領域はOSF消滅直前の領域ほどボイドが微細化するが、V領域の微小ピット欠陥は、相当微細なものであっても初期酸化膜耐圧 (TZDB; Time Zero Dielectric Breakdown) 特性を著しく劣化させる。

【0029】

一方、シリコン単結晶成長の高速から低速へ漸減の際、OSF消滅直後のCuデポジション欠陥領域については、V領域のように顕著な耐圧レベルの劣化はなく、TZDB特性が面内ほぼ100%の領域でCモードを示すものの、経時絶縁破壊 (TDDDB; Time Dependent Dielectric Breakdown) 特性においてやや劣化が見られた。

【0030】

このような調査、検討の結果、最近、一部のデバイス向けに要求されている層間絶縁酸化膜の薄膜化が進むと、ボンドウエーハ、すなわちシリコン活性層が、従来使用されているV領域やOSF領域、あるいはN領域でもCuデポジション欠陥領域が存在するシリコン単結晶ウエーハからなる場合に限らず、そのようなシリコンウエーハをベースウエーハに用いた場合でも、酸化膜の絶縁性に対する障害となり、電気特性に係る不良が生じ得ることが分かった。

また、これらの領域に存在する空孔型欠陥は、結合熱処理の際に絶縁酸化膜の

膜質の劣化を招く危険性があり、特にその膜厚が100nmを下回るような薄膜の場合、優れた絶縁性を維持することができず、電氣的障害を引き起こし、著しく信頼性を損なう原因となることが分かった。

【0031】

そこで本発明者らは、そのような電氣的不良を避けるため、SOIウエーハのベースウエーハを、Cuデポジション法により検出される欠陥領域も存在しないN領域の鏡面ウエーハとすれば、層間絶縁酸化膜の厚さがたとえ100nm以下となっても、電気特性に優れたSOIウエーハとすることができることを見出し、本発明の完成に至った。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施の形態について具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

図1は、イオン注入剥離法により本発明に係るSOIウエーハを製造する工程の一例を示すフロー図である。

まず、最初の工程(a)では、2枚のシリコン鏡面ウエーハ、すなわち、SOI層となるボンドウエーハ21と、支持基板となるベースウエーハ22とを準備する。ここで、本発明では、ベースウエーハ22として、ウエーハ全面が、チョクラスキー法による育成の際、引き上げ速度を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生するOSF領域より低速側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないシリコンウエーハを使用する。

【0033】

上記のようなN領域であって、Cuデポジション欠陥領域の無いシリコン単結晶は、例えば、図3に示されるような単結晶製造装置30を使用し、V/Gを制御しながら育成することができる。この単結晶引上げ装置30は、引上げ室31と、引上げ室31中に設けられたルツボ32と、ルツボ32の周囲に配置されたヒータ34と、ルツボ32を回転させるルツボ保持軸33及びその回転機構(図示せず)と、シリコンの種結晶を保持するシードチャック6と、シードチャック6を引上げるワイヤ7と、ワイヤ7を回転又は巻き取る巻取機構(図示せず)

を備えている。また、ヒータ 34 の外側周囲には断熱材 35 が配置されている。

【0034】

ルツボ 32 は、その内側のシリコン融液（湯）2 を収容する側には石英ルツボが設けられ、その外側には黒鉛ルツボが設けられている。

なお、最近では引上げ室 31 の水平方向の外側に、図示しない磁石を設置し、シリコン融液 2 に水平方向あるいは垂直方向等の磁場を印加することによって、融液の対流を抑制し、単結晶の安定成長をはかる、いわゆる MCZ 法が用いられることも多い。

【0035】

また、育成したシリコン単結晶 1 を囲むようにして筒状の黒鉛筒（遮熱板）12 が設けられており、さらに結晶の固液界面 4 近傍の外周に環状の外側断熱材 10 が設けられている。なお、黒鉛筒 12 の内側にも内側断熱材を設ける場合もある。このような断熱材 10 は、その下端とシリコン融液 2 の湯面 3 との間に 2 ～ 20 cm の間隔を設けて設置されている。こうすれば、結晶中心部分の温度勾配 G_c [$^{\circ}\text{C}/\text{cm}$] と結晶周辺部分の温度勾配 G_e との差が小さくなり、例えば結晶周辺の温度勾配の方が結晶中心より低くなるように炉内温度を制御することもできる。

また、黒鉛筒 12 の上には冷却筒 14 があって冷却媒体を流して強制冷却している。さらに、冷却ガスを吹き付けたり、輻射熱を遮って単結晶を冷却する筒状の冷却手段を設けてもよい。

【0036】

このような単結晶引上げ装置 30 を用いてシリコン単結晶を製造するには、まず、ルツボ 32 内でシリコンの高純度多結晶原料を融点（約 1420 $^{\circ}\text{C}$ ）以上に加熱して融解する。次に、ワイヤ 7 を巻き出すことにより融液 2 の表面略中心部に種結晶の先端を接触又は浸漬させる。その後、ルツボ保持軸 33 を回転させるとともに、ワイヤ 7 を回転させながら巻き取る。これにより種結晶も回転しながら引上げられ、単結晶の育成が開始され、以後、引上げ速度と温度を適切に調節することにより略円柱形状の単結晶棒 1 を得ることができる。

【0037】

そして、N領域であって、Cuデポジション欠陥領域を含まないシリコン単結晶を育成するには、例えば、引上げ中のシリコン単結晶の成長速度（引き上げ速度）を高速から低速に漸減させた場合に、リング状に発生するOSF領域が消滅した後に残存する、Cuデポジション法により検出される欠陥領域が消滅する境界の成長速度と、さらに成長速度を漸減した場合に格子間転位ループが発生する境界の成長速度との間の成長速度に制御して結晶を育成する。

【0038】

すなわち、引上げ中のシリコン単結晶の成長速度を結晶肩から直胴尾部にかけて高速から低速へ漸減させた場合、図2に示したように、成長速度Vに応じて、V領域、OSFリング領域、Cuデポジション欠陥領域、N_v領域、N_i領域、I領域（巨大転位クラスタ発生領域）の順に各相が形成されるが、N領域のうち、OSFリング消滅後に残存するCuデポジションにより検出される欠陥領域が消滅する境界の成長速度と、さらに成長速度を漸減した場合に、I領域が発生する成長速度との間の成長速度に制御して単結晶を育成する。このような方法によれば、FPD等のV領域欠陥、巨大転位クラスタ（LSEPD、LFPD）等のI領域欠陥、OSF欠陥を含まず、かつCuデポジション法により検出される欠陥もないN領域のシリコン単結晶を育成することができる。

【0039】

そして、上記のように育成したシリコン単結晶を鏡面研磨したウエーハ（PW）に加工した後、インゴットブロックごとの単位ロットからPWを任意に抜き取ったのちにCuデポジション法による評価を行い、欠陥がフリーであった場合に、ベースウエーハ22として採用すれば良い。

【0040】

なお、ボンドウエーハ21については、シリコン活性層に要求される品質に応じたものを使用すれば良いが、ボンドウエーハ21も、ベースウエーハ22と同様のもの、すなわちウエーハ全面が、リング状に発生するOSF領域より低速側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものを使用すれば、シリコン活性層に微小欠陥が存在しないことになるので、形成されるデバイス特性を向上させることができるし、たとえ層間絶縁酸化膜が厚

さ 50 nm 程度に形成されても、後の結合熱処理などにおけるベースウエーハの影響による絶縁破壊特性の劣化を確実に防ぐことができ、電気的信頼性を極めて高くすることができる。

さらに、ボンドウエーハ 21 もベースウエーハ 22 と同様のものを使用し、後述するように剥離後のボンドウエーハを再生処理して再利用すれば、電気的信頼性の高い SOI ウエーハを低いコストで製造することが可能となる。

【0041】

次に図 1 の工程 (b) では、ボンドウエーハ 21 とベースウエーハ 22 のうちの少なくとも一方のウエーハの表面を酸化する。ここではボンドウエーハ 21 を熱酸化し、その表面に酸化膜 23 を形成している。このとき、酸化膜 23 は、要求される絶縁性が保たれる厚さとするが、本発明では、厚さが 10 ~ 100 nm の範囲となる極めて薄い酸化膜を形成させることもできる。

【0042】

ベースウエーハとして、従来使用されている例えば表面に 50 nm 以上の微小欠陥が多数存在するシリコンウエーハを使用し、埋め込み酸化膜の厚さを 100 nm 以下にして SOI ウエーハを製造すると、酸化膜はベースウエーハの表面に存在する微小欠陥の影響を受け、後の結合熱処理やデバイス工程における熱処理によって劣化ないし破壊されるおそれがある。しかし、本発明のベースウエーハ 22 は、Cu デポジション欠陥領域に存在する極めて微小な欠陥も存在しないので、酸化膜 23 の厚さを 100 nm 以下としても絶縁破壊特性の劣化のような問題が生じることがない。

なお、酸化膜 23 の厚さを 10 nm 未満とすると、酸化膜の形成に時間がかからなくなるものの絶縁性が保てなくなるおそれがあるので 10 nm 以上とするのが好ましい。

【0043】

工程 (c) では、表面に酸化膜 23 を形成したボンドウエーハ 21 の片側の表面から水素イオンをイオン注入する。なお、希ガスイオンあるいは水素イオンと希ガスイオンの混合ガスイオンをイオン注入してもよい。これにより、ウエーハ内部にイオンの平均進入深さにおいて表面に平行なイオン注入層を形成すること

ができる。なお、この時のイオン注入層の深さは、最終的に形成されるSOI層の厚さに反映される。従って、注入エネルギー等を制御してイオン注入することにより、SOI層の厚さを制御でき、例えば200nm以下の厚さのSOI層とすることも可能である。

【0044】

工程(d)は、ボンドウエーハ21のイオン注入された側の表面とベースウエーハ22の表面とを酸化膜23を介して貼り合わせる。例えば、常温の清浄な雰囲気下で2枚のウエーハ21, 22の表面同士を接触させることにより、接着剤等を用いることなくウエーハ同士が接着する。

【0045】

次に、工程(e)では、熱処理によりボンドウエーハ21の一部をイオン注入層24で剥離する。例えば、ボンドウエーハ21とベースウエーハ22とを貼り合わせて接着したものに対し、不活性ガス雰囲気下約500℃以上の温度で熱処理を加えれば、結晶の再配列と気泡の凝集とによって剥離ウエーハ25とSOIウエーハ26(SOI層27+埋込み酸化膜23+ベースウエーハ22)に分離される。

【0046】

ここで、副生された剥離ウエーハ25については、最近、剥離面に研磨等の再生処理を施し、ベースウエーハ、あるいはボンドウエーハとして再利用する方法が提案されている。前記したように、ボンドウエーハ21も、ベースウエーハ22と同様、N領域であって、Cuデポジション欠陥領域を含まないシリコンウエーハを使用しているので、剥離ウエーハ25を再生処理して得たシリコンウエーハはベースウエーハとボンドウエーハのいずれにも使用できるものとなる。従って、剥離ウエーハ25を例えばベースウエーハ22として再利用することで、同様の高品質のSOIウエーハを製造することができることになる。すなわち、本発明に係るSOIウエーハが、実質的に1枚のシリコンウエーハから製造されることになり、製造コストを低く抑えることができる。

【0047】

工程(f)では、SOIウエーハ26に対して結合熱処理を加える。この工程

(f) は、前記工程 (d)、(e) の貼り合わせ工程および剥離熱処理工程で密着させたウエーハ同士の結合力では、そのままデバイス作製工程で使用するには弱いので、結合熱処理として SOI ウエーハ 26 に高温の熱処理を施して結合強度を十分なものとする。例えば、この熱処理は不活性ガス雰囲気下、1050℃～1200℃で30分から2時間の範囲で行うことができる。

このような高温での熱処理を施しても、ベースウエーハ 22 のウエーハ全面が無欠陥となっているので、埋め込み酸化膜 23 の絶縁破壊特性は劣化されず、高絶縁性を維持することができる。

【0048】

工程 (g) では、SOI ウエーハ 26 表面に形成された酸化膜を弗酸洗浄により除去するものである。このとき、シリコン活性層 27 に空孔型欠陥が存在すると欠陥を通して HF が埋め込み酸化膜に達することにより微小ピットが発生してしまうおそれがあるが、本発明では、シリコン活性層 27 は、全面にわたって N 領域であり、且つ Cu デポジション法により検出される欠陥領域を含まないシリコン単結晶から構成されているので、弗酸洗浄を行ってもピットが拡大して SOI 層 27 及び埋め込み酸化膜 23 が破壊されることもない。

【0049】

さらに工程 (h) では、必要に応じ、SOI 層 27 の厚さを調整するための酸化を行い、次いで (I) 工程では、弗酸洗浄により酸化膜 28 を除去するいわゆる犠牲酸化を行う。

以上のような工程 (a) ～ (I) を経て製造された SOI ウエーハは、ベースウエーハ 22、さらに SOI 層 27 も、全面が OSF 領域の外側の N 領域であり、且つ Cu デポジション法により検出される欠陥領域を含まない CZ シリコン単結晶からなり、埋め込み酸化膜 23 が極めて薄いにもかかわらず、高絶縁性が維持され、電氣的信頼性が極めて高いものとなる。

【0050】

【実施例】

以下、実施例を挙げて本発明を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

(実験1) : 引上げ条件の確認

図3の単結晶製造装置30を用いて、以下のように結晶成長速度の漸減実験を行い、各領域の境界における成長速度を調べた。

まず、24インチ(600mm)径の石英ルツボに原料となる多結晶シリコンを150kgチャージし、直径210mmのシリコン単結晶を育成した。酸素濃度は23~26ppma (ASTM' 79値)となるようにした。単結晶を育成する際、図4(A)に示されるように、成長速度を結晶頭部から尾部にかけて0.70mm/minから0.30mm/minの範囲で直線的に漸減させるように制御した。

【0051】

そして、図4(A)(B)に示すとおり、引上げた単結晶の頭部から尾部にかけて結晶軸方向に縦割り切断し、その後、直径200mmのウェーハ形状の鏡面加工仕上げのサンプルを作製した。

サンプルのうち1枚は、酸素析出熱処理後のウェーハライフタイム(WLT)測定(測定器: SEMILAB WT-85)によりV領域、OSF領域、I領域の各領域の分布状況および各領域境界の成長速度を確認した。さらにもう1枚は熱酸化膜形成後Cuデポジション処理を施し、酸化膜欠陥の分布状況を確認した。なお、本実験における詳細な評価方法は、以下のとおりである。

【0052】

(a) 直径210mmのインゴットを結晶軸方向10cm毎の長さでブロックに切断後、結晶軸方向に縦割り切断加工し、その後図5に示されるように結晶軸に対し垂直方向に直径200mm(8インチ)のウェーハ形状の鏡面加工サンプルに仕上げた。

(b) 上記サンプルのうち1枚目は、ウェーハ熱処理炉内620℃・2時間(窒素雰囲気)熱処理後、800℃・4時間(窒素雰囲気)と1000℃・16時間(ドライ酸素雰囲気)の2段熱処理を施したあとに冷却し、SEMILAB WT-85によるWLTマップを作成した。

(c) 2枚目はウェーハ表面に熱酸化膜形成後Cuデポジション処理を施し、酸化膜欠陥の分布状況を確認した。評価条件は次のとおりである。

- 1) 酸化膜: 25 nm
- 2) 電解強度: 6 MV/cm
- 3) 電圧印加時間: 5 分間

【0053】

実験結果

上記実験から、図6 (A) (B) に示されるような結果が得られ、V領域、OSF領域、N領域、I領域の各領域境界の成長速度を確認した。

V領域/OSF領域境界	: 0.523 mm/min
OSF消滅境界	: 0.510 mm/min
Cuデポジション欠陥消滅境界	: 0.506 mm/min
析出N領域/非析出N領域境界	: 0.497 mm/min
非析出N領域/I領域境界	: 0.488 mm/min

【0054】

(実験2): SOIウエーハの製造

図3に示した実験1と同じ引き上げ装置により、24インチ石英ルツボに原料多結晶シリコンを150 kgチャージし、今度は図7に示されるように成長速度を0.55 mm/minから0.45 mm/minの範囲で直径210 mmのインゴットの結晶頭部から尾部にかけて実験1より緩やかに漸減させ、結晶直胴部の40 cmから70 cmの領域にCuデポジション欠陥を含んだN領域及びCuデポジション欠陥を含まないN領域が形成されるようにコントロールした。また、酸素濃度は24~26 ppm (ASTM '79) となるように作製した。そして以下の手順にしたがって品質評価およびSOI加工を行った。

【0055】

(1) 結晶引き上げ後、各結晶ブロックの結晶軸方向に頭側から順にウエーハを切断し、切断順序がわかるようにレーザーマーキングにて番号を印字し、鏡面ウエーハに加工した。

【0056】

(2) 各ブロック単位の頭側1枚目のPWは1/4サイズに分割し、FPD、LFPD、LSEP、OSFを調査した。次いで各ブロック単位の頭側2枚目は

Cuデポジション欠陥分布を確認した。そして各ブロック単位の頭側3枚目から7枚目の合計5枚はSOIウエーハの製造工程（SOI工程）へ投入した。再び頭側8枚目はFPD、LFPD、LSEP、OSFを評価し、9枚目はCuデポジション欠陥分布を、10枚目から14枚目の合計5枚はSOI工程へ投入するという要領で、結晶軸方向7枚単位の頭側2枚を品質評価し、残り5枚をSOIウエーハに加工した。

【0057】

(3) 上記評価の結果、結晶直胴部のおよそ40cmから50cmのブロックの半ばまでがV領域およびOSF領域、結晶直胴部の50cm付近までがCuデポジション欠陥が発生するN領域、結晶直胴部のおよそ50cmから70cm付近までがCuデポジション欠陥が発生しないN領域、結晶直胴部の70cm付近からテール側の領域はI領域であった。

【0058】

(4) 上記(1)の5枚ずつのロットの鏡面ウエーハをボンドウエーハとベースウエーハに使用し、図1に示した工程に基づくイオン注入剥離法により、ボンドウエーハへのイオン注入、ベースウエーハとの貼り合わせ、剥離熱処理、結合熱処理（貼り合わせ酸化）等を経て、厚さが70nmの絶縁酸化膜と、200nmのシリコン活性層を有するSOIウエーハを製造した。

上記のように製造されたSOIウエーハに対し、活性層を水酸化カリウム溶液で選択エッチングして除去した。次いで、残った絶縁酸化膜層を有するベースウエーハに対し、6MV/cmの電解強度でCuデポジション法による評価を行った。

【0059】

その結果、貼り合わせ酸化を行った後の絶縁酸化膜の場合、V領域、OSF領域、及びCuデポジション欠陥が発生するN領域のベースウエーハの方では酸化膜の破壊が確認されたが、Cuデポジション欠陥領域を含まないN領域のベースウエーハの方には酸化膜破壊は発生しなかった。

【0060】

尚、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例

示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0061】

例えば、実施形態では、2枚のシリコンウエーハを用いてイオン注入剥離法によりSOIウエーハを製造する場合について説明したが、本発明は、貼り合わせ後、ボンドウエーハの裏面側を研削・研磨等により薄膜化して製造されるSOIウエーハにも適用することができる。

【0062】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ベースウエーハの全面がN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなるSOIウエーハが提供される。このようなSOIウエーハであれば、たとえ埋め込み酸化膜の厚さが100nm以下であっても優れた絶縁特性を保つため、これを使用してデバイスを作製すれば、電気特性に優れたデバイスを高歩留りで作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るSOIウエーハの製造工程の一例を示すフロー図である。

【図2】

本発明に係るSOIウエーハを製造する際に使用する結晶の領域を表す説明図である。

【図3】

本発明で 사용할 ことができるCZシリコン単結晶製造装置の一例である。

【図4】

(A) 単結晶成長速度と結晶切断位置の関係を示す関係図である。

(B) 成長速度と各領域を示す説明図である。

【図5】

Cuデポジション評価試料の作製方法を示す説明図である。

【図 6】

結晶縦割り加工断面の (A) ウエーハライフタイム及び (B) Cu デポジッション欠陥を示す図である。

【図 7】

実験 2 おける成長速度と結晶切断位置を示す図である。

【図 8】

Cu デポジッション法により各結晶領域の欠陥分布を示す図である。

(A) V 領域

(B) N 領域 (Cu デポジッション欠陥発生)

(C) N 領域 (Cu デポジッション欠陥なし)

【図 9】

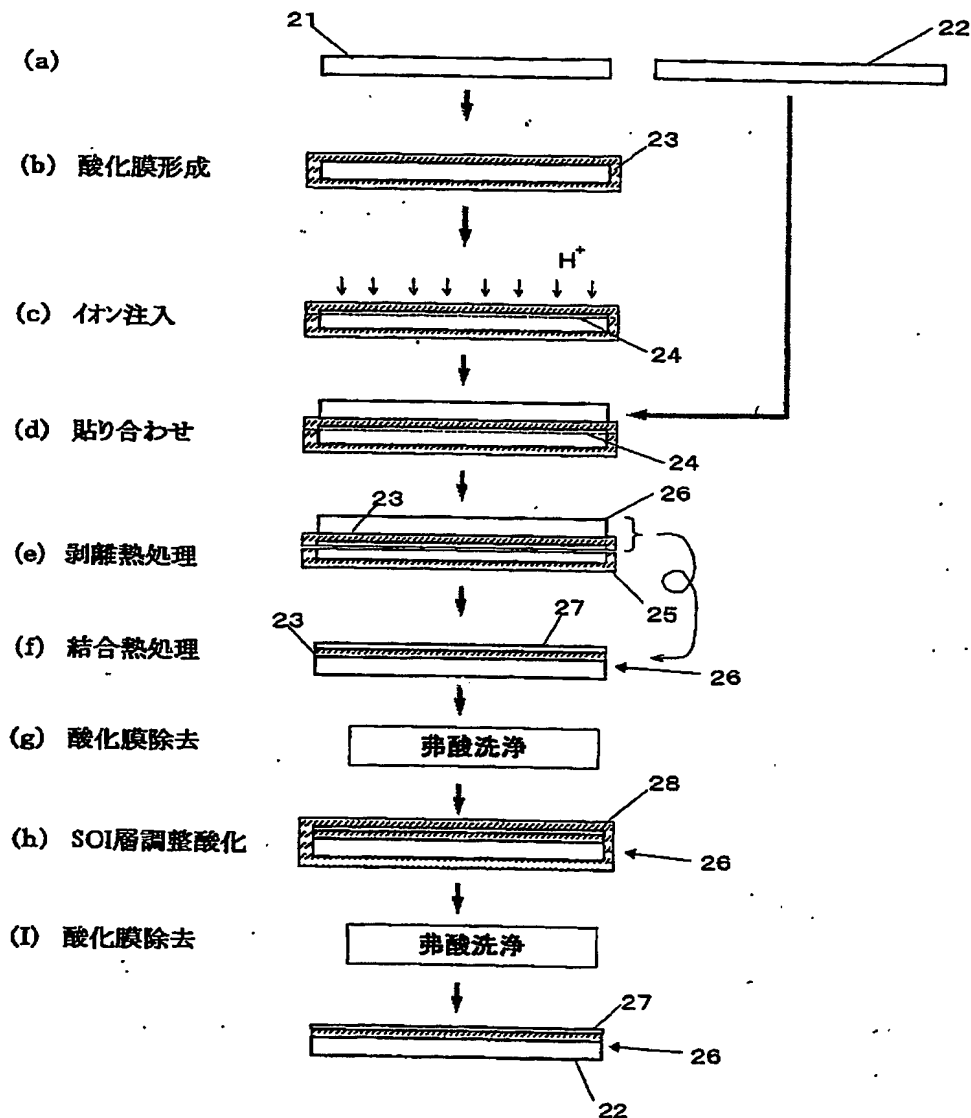
結晶領域を説明する説明図である。

【符号の説明】

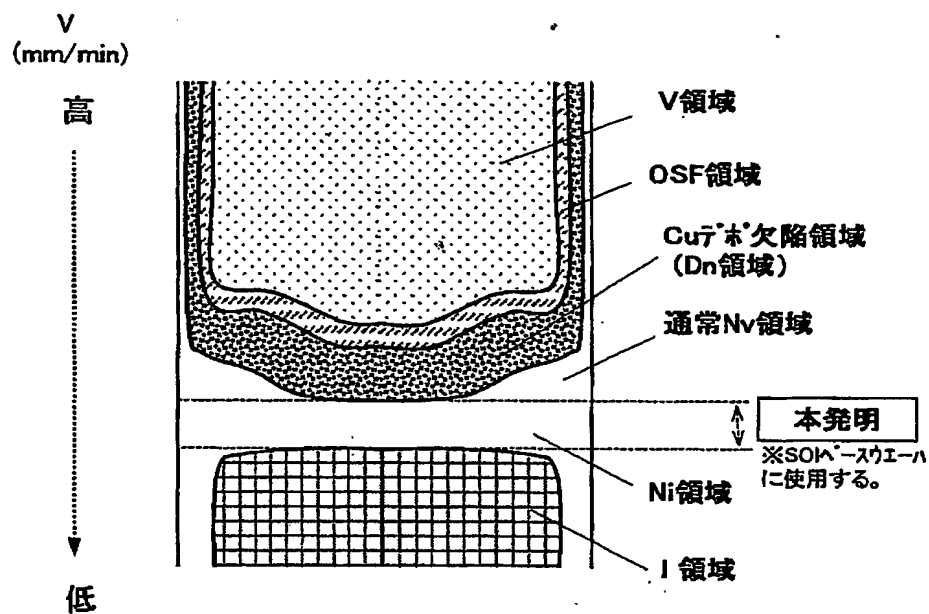
- 1…成長単結晶棒、 2…シリコン融液、 3…湯面、 4…固液界面、
6…シードチャック、 7…ワイヤ、 10…外側断熱材、 12…黒鉛筒、
21…ボンドウエーハ、 22…ベースウエーハ、
23…酸化膜（絶縁層）、 24…イオン注入層、 25…剥離ウエーハ、
26…SOI ウエーハ、 27…シリコン活性層（SOI 層）、
28…酸化膜、 30…単結晶引上げ装置、 31…引上げ室、
32…ルツボ、 33…ルツボ保持軸、 34…ヒータ、 35…断熱材。

【書類名】 図面

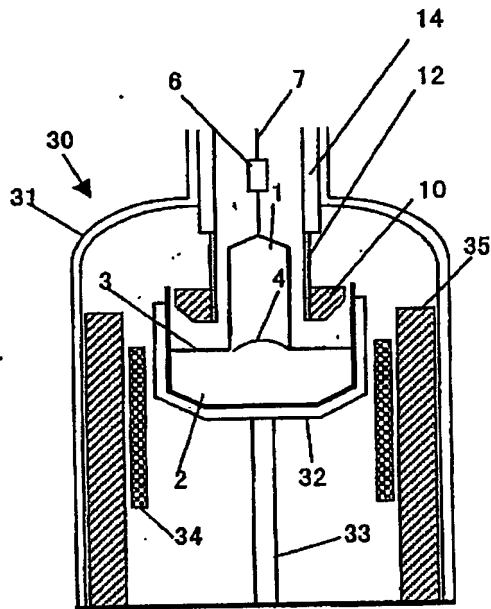
【図1】



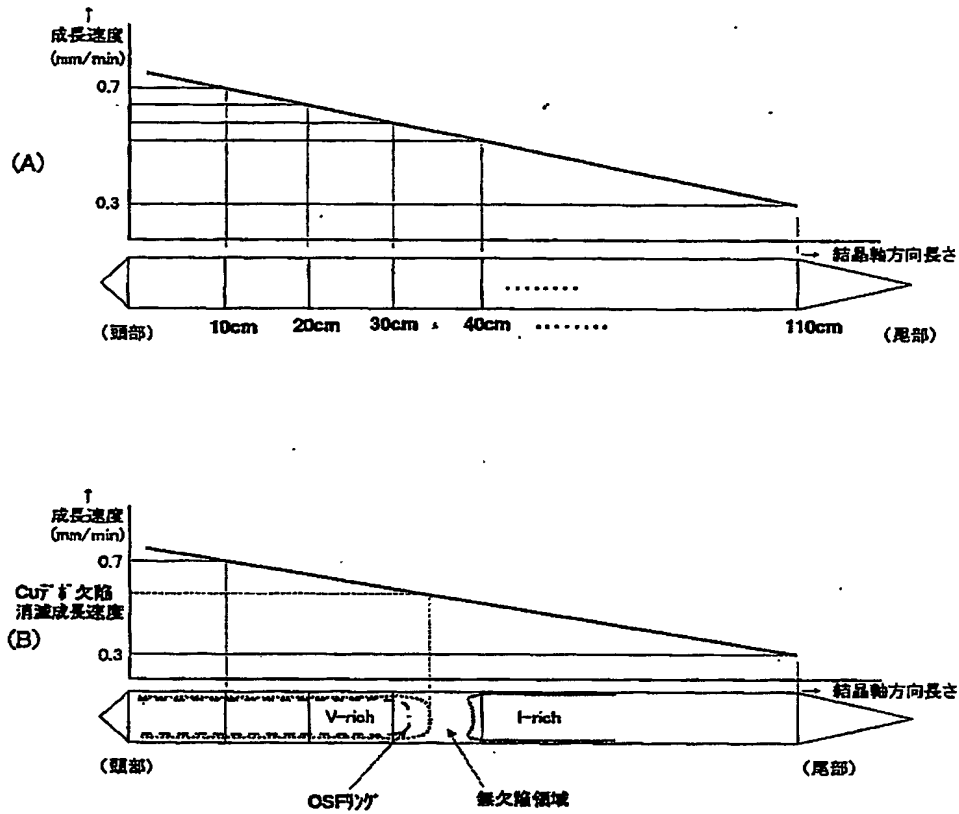
【図 2】



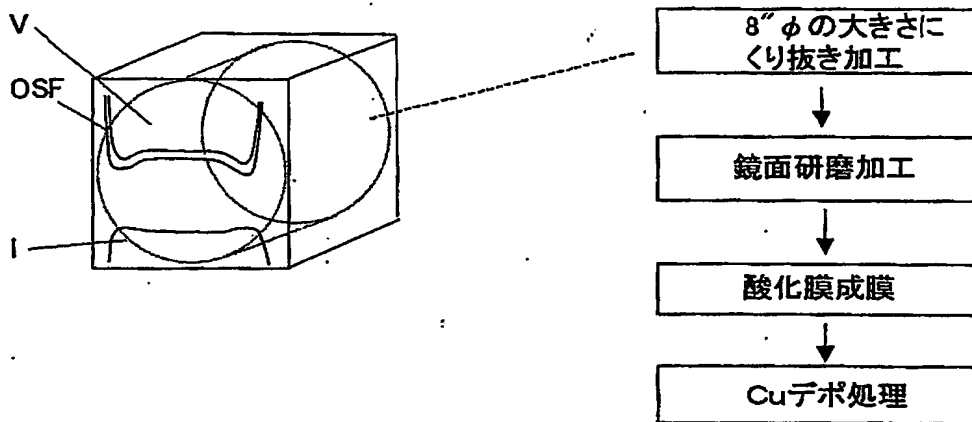
【図 3】



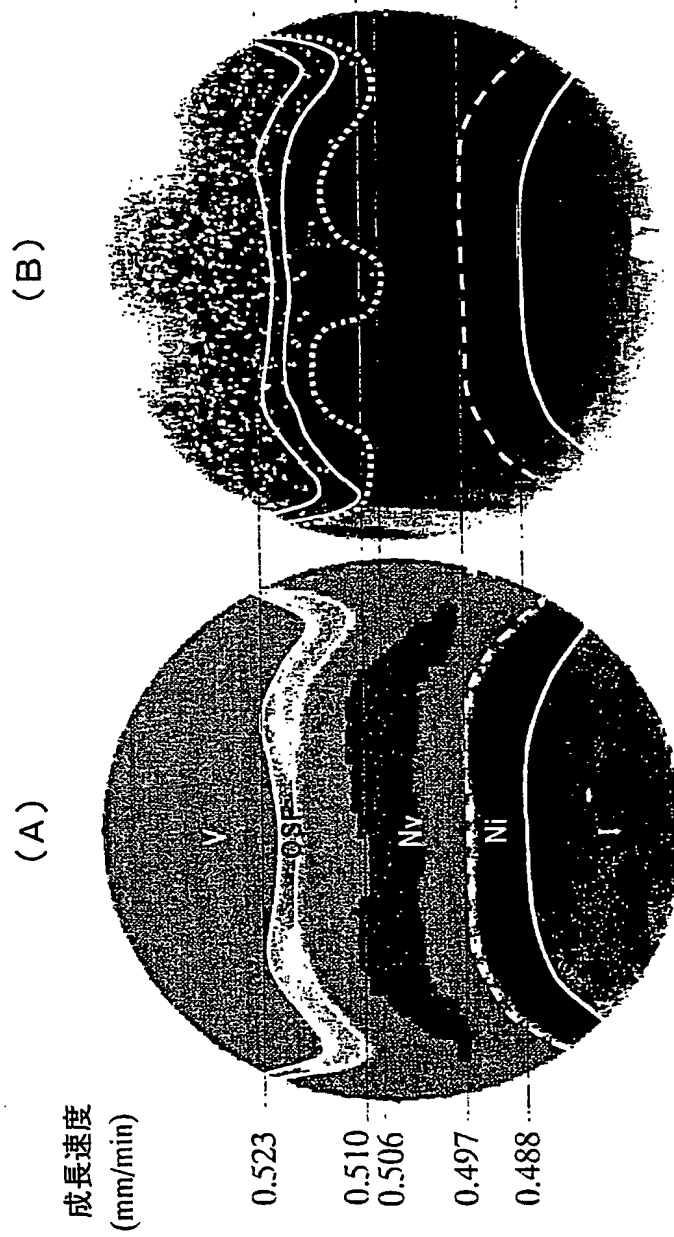
【図 4】



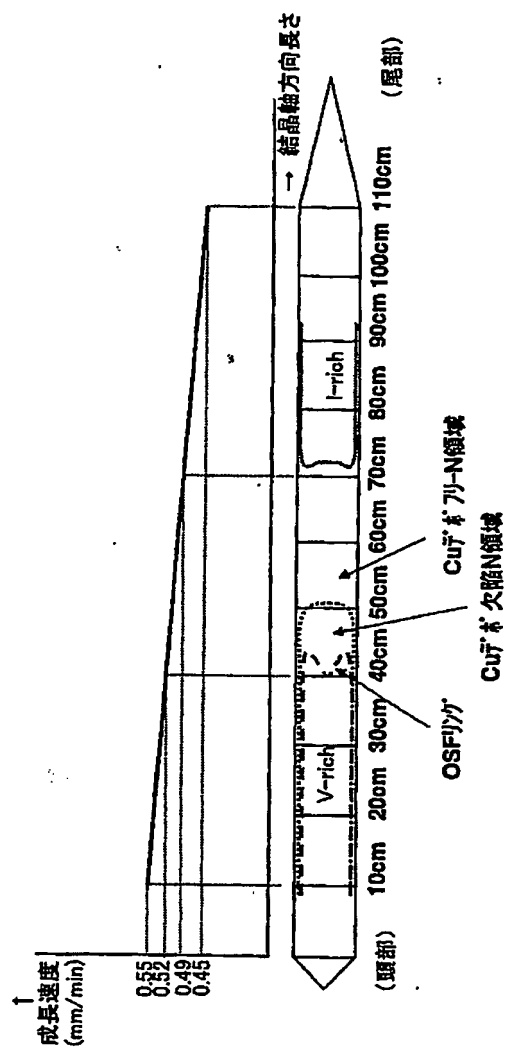
【図 5】



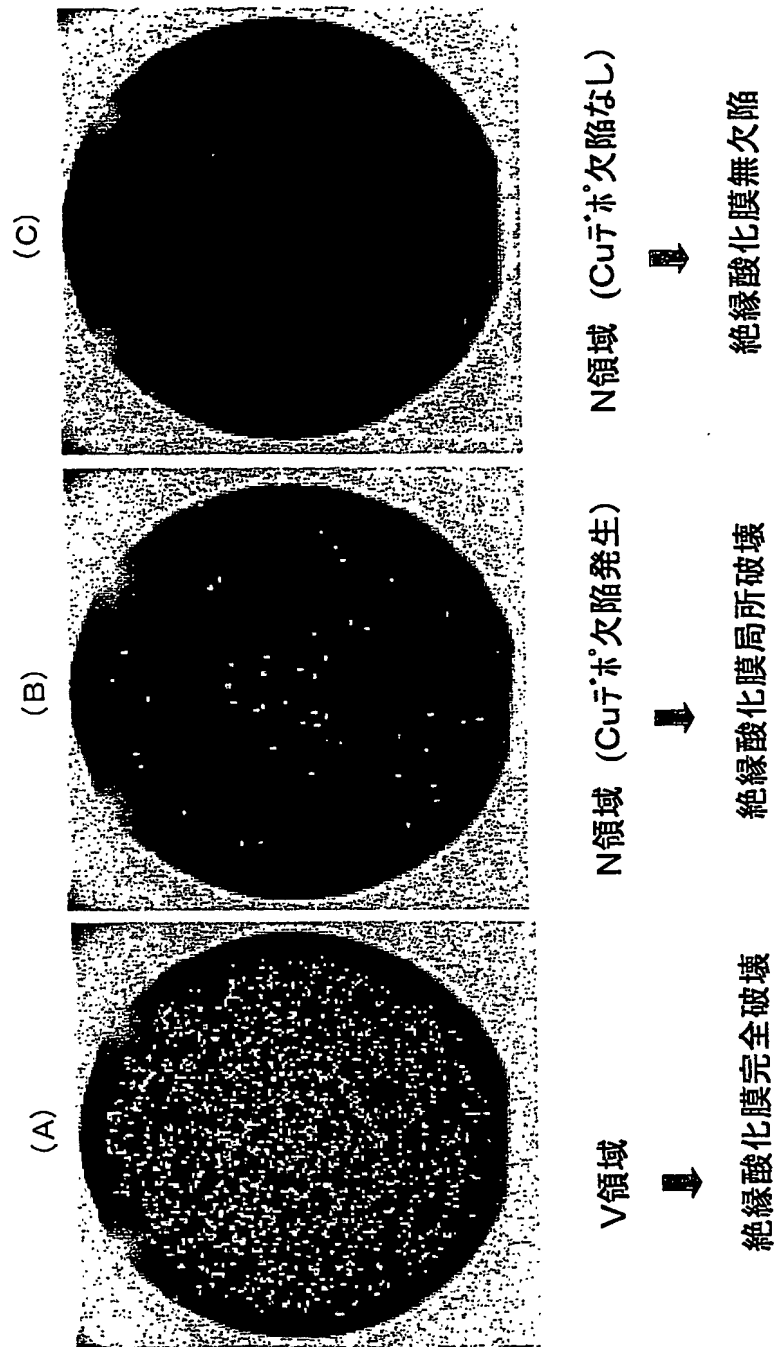
【図 6】



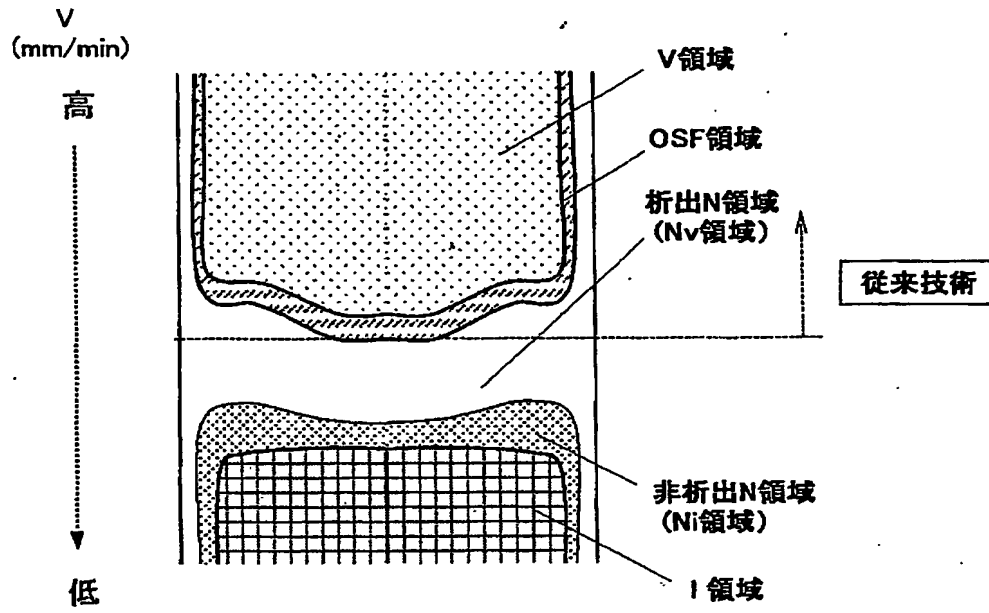
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 層間絶縁酸化膜の厚さが例えば100nm以下となるほど極めて薄く形成した場合であっても、高絶縁性が維持され、デバイス作製工程における電氣的信頼性が高いSOIウエーハを提供する。

【解決手段】 それぞれシリコン単結晶からなるベースウエーハ22とボンドウエーハ21とを、酸化膜23を介して貼り合わせた後、前記ボンドウエーハを薄膜化することによりシリコン活性層27が形成されたSOIウエーハであって、前記ベースウエーハが、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶であり、該ウエーハ全面がOSF領域の外側のN領域であり、且つCuデポジション法により検出される欠陥領域を含まないものからなることを特徴とするSOIウエーハ26。好ましくは、イオン注入剥離法により形成されたものであり、シリコン活性層を形成するボンドウエーハも同様のシリコン単結晶とする。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 1 5 3 9 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 1 9 0 1 4 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番 2 号

氏 名

信越半導体株式会社